Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 633-643
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۶۴۳-۶۳۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر کاربرد کود زیستی حل‌کننده پتاسیم در مقایسه با سولفات پتاسیم بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی تربچه قرمز (*Raphanus sativus* L.) تحت تنش خشکی

آیسان صمدی[۱]- اکبر حسنی[۲]*- مجید غلامحسینی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵

چکیده

استفاده ازکودهای زیستی افزون بر افزایش بهره‌وری و افزایش عملکرد گیاهان، به کاهش مصرف کودهای شیمیایی و حفظ محیط زیست کمک می‌کند. در این راستا، هدف از این پژوهش تأثیر کاربرد کودهای زیستی محتوی باکتری‌های حل کننده پتاسیم (*Pseudomonas koreensis* و *Pseudomonas vancouverensis*)، باکتری‌های حل‌کننده فسفر (*Pseudomonas putida*) و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (*Pantoea agglomerans*) به عنوان یک نهاده سازگار با محیط زیست بر رشد و عملکرد تربچه قرمز و تأثیر آن بر تحمل این گیاه به تنش خشکی بود. بدین منظور آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه و در گلدان با ۱۰ تیمار کاربرد کود سولفات پتاسیم، کاربرد کود زیستی باکتری حل کننده پتاسیم و کودهای زیستی باکتری‌های محرک رشد در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تنش خشکی موجب کاهش وزن تر غده به میزان ۶۵ درصد در تیمار شاهد شد ولی در وزن تر بخش هوایی، کاهش ناشی از تنش دیده نشد. در تیمار کاربرد سولفات پتاسیم این مقدار کاهش ۵۵ درصد و در تیمار کود زیستی مقدار کاهش ۴۸ درصد بود. کاربرد توام کود حل کننده پتاسیم و سایر کودهای محرک رشد نسبت غده به بخش هوایی را ۳۴ درصد افزایش داد در حالیکه کاربرد سولفات پتاسیم تاثیر معنی‌داری بر این مورد نداشت. تنش خشکی غلظت پرولین، آمینواسیدها، قندهای محلول و نشت یونی را در برگ‌ها افزایش داد اما کاربرد سولفات پتاسیم و کودهای زیستی اثرات تنش خشکی را تعدیل نمود. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان کاربرد کودهای زیستی فوق را در برنامه تغذیه گیاه تربچه قرار داد.

واژه‌های کلیدی: آمینواسید، پرولین، حل‌کننده فسفر، تثبیت کننده نیتروژن، نشت یونی

مقدمه

کودهای شیمیایی نسبت به سموم و آفت‌کش‌ها ترکیبات کم‌خطرتری محسوب می‌شوند ولی همه کودهای شیمیایی استفاده شده در بخش کشاورزی به‌طور کلی توسط گیاهان جذب نمی‌شوند و بیش از ۵۰ درصد از کودهای شیمیایی مورد استفاده در خاک‌ها باقی می‌مانند (۱۶). اغلب کودهای شیمیایی به‌طور مستقیم باعث ایجاد سمیت در انسان‌ها و سایر موجودات زنده نمی‌شوند بلکه مصرف بی‌رویه آنها موجب به‌هم خوردن تعادل اکولوژیک محیط زیست می‌شود. عناصر غذایی موجود در کودها ممکن است وارد دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی شوند. عدم تعادل غذایی در این آب‌ها ممکن است موجب رشد بی‌رویه برخی گونه‌های آبزی مانند جلبک‌ها شده و زندگی سایر گونه‌ها را تهدید کند. تجمع برخی شکل‌های عناصر غذایی در گیاهان مانند تجمع نیترات در سبزیجات نیز یکی دیگر از خطرات بالقوه مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی می‌باشد (۲۲).

از سمت دیگر تنش‌های محیطی از عواملی می‌باشند که سالانه حجم زیادی از محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد. کمبود آب یکی از مشکلات اصلی تهدید کننده تولید غذا در جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. تنش خشکی فرآیندهای مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی را در گیاهان تحت تاثیر قرار می‌دهد. تنش خشکی همچنین به‌طور مستقیم با کاهش تحرک عناصر غذایی در خاک، رشد گیاه را کاهش می‌دهد. کوددهی در این شرایط اگرچه سطح حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد اما جذب آب و مواد غذایی از خاک تحت تاثیر فعالیت‌های ریشه و برهم‌کنش آنها

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: Akbar.hassani@znu.ac.ir)
۳- استادیار بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.84228

با عوامل زنده و غیرزنده خاک می‌باشد (۱۳).

باکتری‌های محرک رشد گیاه، میکروارگانیسم‌های سودمندی هستند که به افزایش رشد گیاهان کمک نموده و سبب کاهش مصرف کودهای شیمیای می‌شوند. این میکروارگانیسم‌ها همچنین مقاومت گیاه را در برابر انواع تنش‌های زیستی و غیر زیستی از جمله خشکسالی، دماهای شدید، شوری و فلزات سمی بهبود بخشیده و باعث افزایش بهره‌وری و عملکرد گیاهان می‌شوند (۱۶). انواع مختلف میکروارگانیسم در خاک باعث کاهش بسیاری از پاتوژن‌های گیاهی و افزایش رشد گیاه توسط روش‌های مختلف مانند تولید مستقیم و غیرمستقیم فیتوهورمون‌های مختلف، کانی‌سازی و تجزیه مواد ارگانیک و بهبود قابلیت زیست‌پذیری مواد مغذی مختلف مانند آهن و فسفر می‌شوند (۲۱). بسیاری از گونه‌های باکتریایی قادر به تجزیه آلومینوسیلیکات‌ها و آزادسازی عناصر غذایی موجود در آنها می‌باشند (۱۰). گروه‌های مختلفی از میکروارگانیسم‌ها قادر به تبدیل پتاسیم نامحلول و تثبیت شده به پتاسیم محلول و قابل تبادل هستند به نحوی که ریشه گیاهان قادر به جذب آن باشد (۱۷). در حال حاضر گونه‌های میکروبی که قادر به انحلال پتاسیم در خاک باشند به‌طور تجاری در دسترس بوده و خطر زیست محیطی آنها نیز در حداقل می‌باشد. شناسایی سویه‌های میکروبی موثر که قادر به حل نمودن کانی‌های پتاسیم بوده و از پتانسیل خاک برای تامین نیاز غذایی گیاهان استفاده کنند، می‌تواند به حفظ محیط زیست و کاهش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی کمک کند.

برخی مطالعات گزارش داده‌اند که تعدادی از میکروارگانیسم‌های خاک باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش شوری، خشکی، کمبود عناصر غذایی و سمیت عناصر می‌شود (۱۴ و ۲۱). باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد در ریزوسفر با تولید محرک‌های رشد و کاهش تولید اتیلن در گیاهان تحت تنش از علائم تنش می‌کاهند (۱۸). استفاده از این میکروارگانیسم‌ها به عنوان عوامل زیستی موثر در افزایش حاصلخیزی خاک، کاهش اثرات منفی تنش و بهبود محصولات کشاورزی، مورد تحقیق بسیاری از پژوهش‌گران می‌باشد، از این رو شناخت صحیح از تأثیر آنها بر مقاومت گیاهان به تنش خشکی می‌تواند در مدیریت موثر منابع آبی در مزرعه و کاهش اثرات زیست محیطی استفاده از کودهای شیمیایی مفید باشد. مکانیسم تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی با توجه به نوع باکتری متفاوت است. برخی باکتری ها با تولید پیش اتیلن‌دآمیناز از تولید اتلین در گیاهان جلوگیری نموده و موجب ایجاد مقاومت القایی سیستماتیک در گیاهان می‌شوند (۱۴). تولید برخی ترکیبات آنتی اکسیدانی نیز یکی از مکانیسم‌های مقابله با تنش خشکی توسط باکتری‌های محرک رشد می‌باشد که منجر به تخریب رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود (۱۸). برخی باکتری‌ها مانند گونه‌های سودوموناس نیز، تحت شرایط تنش خشکی تولید ترکیبات پلی‌ساکاریدی خارج سلولی (Exopolysaccharides, EPS) می‌کنند تا از آنها در برابر تنش خشکی محافظت کند (۱۸). این ترکیبات باعث حفظ آب موجود در خاک شده و همچنین با داشتن ویژگی‌های سیمانی کننده، باعث تشکیل خاکدانه‌های پایدار در خاک شده و نقش مهمی در حفظ آب موجود در خاک و رشد گیاهان می‌کنند (۱۸).

تأثیر کاربرد مستقل باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و تأثیر همزمان آن با برخی گونه‌های باکتریایی تثبیت کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفر بر تحمل گیاهان به تنش خشکی نیاز به بررسی بیشتری دارد. در این پژوهش تاثیر کود زیستی حل کننده پتاسیم نامحلول خاک که محتوی دو گونه باکتری *Pseudomonas koreensis* و *Pseudomonas vancouverensis* می باشد بر رشد تربچه (*Raphanus sativus* L.) تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. گیاه تربچه به دلیل رشد سریع و کوتاه بودن دوره رشد و احتمال پاسخ به کودهای زیستی به دلیل شبکه ریشه‌ای آن انتخاب شد. یکی دیگر از دلایل انتخاب این گیاه عکس العمل آن نسبت به تنش خشکی با توجه به ذخیره آبی موجود در غده آن بود. دو گونه باکتری مورد استفاده از نوع گرم منفی، هوازی، بدون اسپور، میله‌ای، متحرک، دارای بیش از یک تاژک قطبی، با ابعاد یک در دو میکرومتر متعلق به شاخه *Proteobacteria* و خانوده *Pseudomonadaceae* بودند (۲۰). به طور کلی هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد این کود زیستی در مقایسه با کود شیمیایی سولفات پتاسیم بر رشد و برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تربچه تحت تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی تأثیر کاربرد کودهای زیستی بر رشد تربچه قرمز، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه و گلدان‌های نایلونی با ظرفیت ۶/۵ کیلوگرم خاک با ۱۰ تیمار و سه تکرار برای گیاه تربچه قرمز به شرح زیر انجام شد: ۱: شاهد بدون مصرف کود، تیمار ۲: کاربرد ۰/۶ گرم سولفات پتاسیم در هر گلدان، تیمار ۳: کاربرد کود زیستی محتوی باکتری‌های حل کننده پتاسیم، تیمار ۴: کاربرد کود زیستی محتوی باکتری‌های حل کننده پتاسیم + کود زیستی محتوی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، تیمار ۵: کاربرد کود زیستی محتوی باکتری‌های حل کننده پتاسیم + کود زیستی محتوی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن + کود زیستی محتوی باکتری‌های حل کننده فسفر، تیمار ۶: تیمار اول + تنش خشکی، تیمار ۷: تیمار دوم + اعمال تنش خشکی، تیمار ۸: تیمار سوم + اعمال تنش خشکی، تیمار ۹: تیمار چهارم + اعمال تنش خشکی و تیمار ۱۰: تیمار پنجم + اعمال تنش خشکی. هر تیمار در سه تکرار انجام شده و در نهایت جامعه آماری شامل ۳۰ گلدان از ۱۰ تیمار و سه تکرار برای

گیاه تربچه قرمز بود. تنش خشکی به گونه‌ای اعمال شد که علائم ظاهری تنش در گیاهان دیده شده و مقدار آب رسیده به همه گیاهان یکسان باشد که در این پژوهش ۵۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان بود. کود زیستی مورد نظر از آزمایشگاه فنی شرکت زیست فناور سبز تهیه شد. در کود زیستی حل کننده پتاسیم محتوی مخلوط باکتری‌های *Pseudomonas koreensis* و *Pseudomonas vancouverensis* بود و جمعیت هر گونه برابر با ۱۰^۸ باکتری در هر گرم بود. کود زیستی تثبیت کننده نیتروژن محتوی باکتری *Pantoea agglomerans* با جمعیت ۱۰^۸ باکتری در هر گرم بود. کود زیستی حل کننده پتاسیم نیز محتوی باکتری *Pseudomonas Putida* با جمعیت ۱۰^۸ باکتری در هر گرم بود. مقدار توصیه شرکت سازنده این کودها برابر با یک بسته ۱۰۰ گرمی در هر هکتار همراه با آب آبیاری بود که در این پژوهش مقدار مصرف کودهای زیستی معادل توصیه شرکت سازنده بود.

خاک مورد استفاده از یک قطعه زمین با خاک آهکی متعلق به مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان تهیه شد. خاک مورد نظر به گونه‌ای انتخاب شد که مقدار عناصر فسفر (۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و پتاسیم (۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) قابل جذب آن کمتر از حد بحرانی باشد. برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. پس از جوانه‌زنی بذور، دو گیاهچه قوی در خاک باقی مانده و بقیه گیاهچه‌ها حذف شدند. ادامه آزمایش بر دو گیاه باقی‌مانده انجام شد. تیمارهای مورد نظر در مرحله سه برگی و شش برگی اعمال شدند. گلدان‌ها تا ۲۵ روز پس از کاشت به طور یکسان با آب شهری با مقدار EC برابر با ۴۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر هر سه روز یک‌بار آبیاری شدند. کودهای زیستی مورد نظر دو بار همراه با آب آبیاری در مرحله سه برگی و شش برگی به گلدان‌ها اضافه شدند. پس از ۲۵ روز ۱۵ گلدان مربوط به تیمارهای پنجم تا دهم تحت تنش خشکی قرار گرفتند. تنش خشکی به شکل کاهش دور آبیاری (هر ۷ روز یکبار) و کاهش حجم آب به ۲۰ درصد مقدار قبلی انجام شد. محاسبات تنش خشکی به نحوی انجام شد که خاک در سطح رطوبتی ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی قرار داشته باشد. ۴۰ روز پس از کاشت، نمونه برداری از برگ و غده انجام شد. قبل از خشک‌کردن نمونه‌ها، وزن‌تر، درصد رطوبت بافت گیاهی، مقدار پرولین برگ و غده به روش اسید- نین‌هیدرین (۴)، کل آمینواسید آزاد به روش الکل-نین‌هیدرین (۵)، کل قندهای محلول در عصاره برگ، به روش فنل‌سولفوریک اسید (۱۵) اندازه‌گیری شدند. پس از خشک کردن نیز وزن خشک برگ و غده اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و جهت مقایسه میانگین‌ها، آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده در این پژوهش

Table 1- Some physical and chemical properties of soil samples used in this research

ویژگی خاک Soil property	مقدار Value	روش اندازه‌گیری (۱۱،۲۴،٤۱) Method of analysis
هدایت الکتریکی EC	2.21 dS m^{-1}	عصاره گل اشباع Saturated paste extract
اسیدیته pH	7.57	گل اشباع Saturated paste
کربنات کلسیم معادل ECC	141 g kg^{-1}	تیتراسیون Titartion
بافت Texture	لوم Loam	هیدرومتر Hydrometer
کربن آلی Organic carbon	4.3 g kg^{-1}	والکلی بلک Walkley-Black
فسفر قابل جذب Available P	3.1 mg kg^{-1}	اولسن Olsen
پتاسیم قابل جذب Available K	80 mg kg^{-1}	استات آمونیوم Ammonium acetate

نتایج و بحث

زیست‌توده بخش هوایی و غده

نتایج آنالیز واریانس کاربرد تیمارهای مختلف بر برخی صفات گیاه تربچه در جدول ۲ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف در همه صفات بجز نشاسته برگ و غده در سطح یک درصد معنی‌دار شد. در نشاسته برگ و غده سطح احتمال معنی‌داری ۵ درصد بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر اسیدهای آلی و معدنی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی ذرت

Table 2– ANOVA for the effect of organic and inorganic acids on some quantitative and qualitative characteristics of corn

منابع تغییرات S.O.V	تیمار Treatment	بلوک Block	خطا Error	ضریب تغییرات C.V. (%)
درجه آزادی df	8	2	16	
وزن تر بخش هوایی Fresh weight of shoot	14.11 **	0.044 ns	0.13	11.3
وزن خشک بخش هوایی Dry weight of shoot	12.72 **	0.027 ns	0.10	11.8
وزن تر غده Fresh weight of tuber	27.21 **	0.024 ns	0.22	10.1
وزن خشک غده Dry weight of tuber	19.42 **	0.047 ns	0.21	9.70
نسبت غده به بخش هوایی Ratio of shoot to tuber	1.157 **	0.002 ns	0.003	7.57
پرولین برگ Proline of leaf	0.821 **	0.011 ns	0.004	3.42
پرولین غده Proline of tuber	2.647 **	0.001 ns	0.002	3.76
امینواسید برگ Amino acid of leaf	74.18 *	0.3 ns	0.004	10.10
امینواسید غده Amino acid of tuber	87.36 *	0.37 ns	0.017	8.21
نشت یونی برگ Ionic leak of leaf	122.42 *	0.98 ns	0.18	11.8
نشت یون غده Ionic leak of tuber	197.07 **	1.02 ns	0.003	7.93
قند محلول برگ Soluble sugars of leaf shoot	254.013 **	1.04 ns	0.03	9.11
قند محلول غده Soluble sugars of tuber TF	186.15 **	1.08 ns	0.08	10.25
نشاسته برگ Starch of leaf	117.23 *	1.3 ns	1.12	9.72
نشاسته غده Starch of tuber	118.43 *	1.45 ns	1.15	8.33

بر اساس داده‌های جدول ۳ مشخص شد که تیمارهای کودی استفاده شده در شرایط تنش و بدون تنش موجب افزایش معنی‌دار وزن تر بخش هوایی شدند. طبق مقایسه میانگین (جدول ۳) در بین تیمارهای بدون تنش بیشترین وزن تر در تیمار ۲ (۱۰/۰۳ گرم در گلدان) و کمترین آن در تیمار شاهد (۶/۵۵ گرم در گلدان) مشاهده شد و تفاوت مشاهده شده نیز معنی‌دار بود. از میان تیمارهای تنش خشکی همراه با کاربرد انواع کودهای مورد استفاده، تیمار ۸ بیشترین وزن تر (با میانگین ۹/۱۹ گرم در گلدان) و تیمار ۶ کمترین میزان وزن تر (با میانگین ۷/۰۴ گرم در گلدان) را داشتند که اختلاف معنی‌دار بود. کاربرد کود سولفات پتاسیم هم در حالت تنش و هم بدون تنش موجب افزایش وزن تر بخش هوایی شد. کود زیستی حل‌کننده پتاسیم هم به تنهایی و هم همراه با سایر کودهای زیستی موجب افزایش وزن تر بخش هوایی تربچه شد که با کاربرد کود شیمیایی سولفات پتاسیم اختلاف معنی‌دار نداشت.

کاربرد تیمارهای مختلف بر وزن خشک بخش هوایی گیاه تربچه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک (۰/۹۷ گرم در گلدان) متعلق به تیمار سولفات پتاسیم بدون تنش خشکی (۳) و کمترین مقدار (۰/۶۵ گرم در گلدان) متعلق به تیمار شاهد بدون تنش بود. در بین تیمارهای کودی بدون تنش اختلاف معنی‌دار دیده نشد اما کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی سبب افزایش وزن خشک بخش هوایی نسبت به شاهد شد. در بین تیمارهای تحت تنش، تیمار ۱۰ (۰/۸۹ گرم در گلدان) بیشترین و تیمار ۶ (۰/۶۸ گرم

در گلدان) کمترین وزن خشک را داشتند. دردی‌پور و همکاران (۶) با کاربرد باکتری‌های محرک رشد *Azospirillum lipoferum* و *Azotobacter chrococoum* بر گیاه سویا افزایش وزن خشک گیاه را در تیمارهای دارای باکتری‌های محرک رشد مشاهده کردند. آنان همچنین گزارش کردند که وزن خشک گیاه در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر بیشتر از گیاهان تلقیح شده با آزوسپریلوم و تیمار بدون باکتری بود که با نتایج این پژوهش همسو بود.

نتایج حاصل از تأثیر کاربرد تیمارهای مختلف بر وزن تر غده گیاه تربچه در جدول ۳ آورده شده است. طبق نتایج بدست آمده کاربرد کود سولفات پتاسیم و کودهای زیستی سبب افزایش معنی‌دار وزن تر غده در شرایط بدون تنش نسبت به تیمار شاهد شد و تأثیر کودهای زیستی در این مورد بیشتر بود. بیشترین وزن تر غده در تیمارهای ۴ و ۵ که در آن‌ها از کودهای زیستی به طور تلفیقی استفاده شده بود دیده شد. طبق نتایج، اعمال تنش خشکی موجب کاهش قابل توجه (۶۸ درصد) وزن تر غده شد که کاربرد کود سولفات پتاسیم و کودهای زیستی تأثیر منفی تنش خشکی را کمی تعدیل کرد ولی هم‌چنان مقدار آن‌ها از تیمار شاهد بدون تنش کمتر بود. وزن تر غده در شرایط تحت تنش بین تیمارهای کودی اختلاف معنی‌دار نداشت. با توجه تأثیر اندک تنش خشکی بر بخش هوایی، به نظر می‌رسد در شرایط تنش، غده تربچه با کاهش مقدار آب خود به افزایش مقاومت بخش هوایی نسبت به تنش خشکی کمک می‌کند.

نتایج به دست آمده از وزن خشک غده نیز تا حدی از نتایج وزن تر پیروی می‌کرد با این تفاوت که در هر دو حالت بدون تنش و با تنش خشکی، تأثیر کود سولفات پتاسیم و کود زیستی حل کننده پتاسیم کمتر از تأثیر کودهای زیستی تلفیقی بود. بیشترین وزن خشک غده در تیمار ۱۰ که در آن از هر سه کود زیستی حل‌کننده پتاسیم، تثبیت کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفر استفاده شده بود دیده شد. رسولی‌صدقیانی و همکاران (۱۷) نیز گزارش نمودند تلقیح میکروبی ذرت با باکتری *Bacillus* sp. سویه KSB_{13} سبب افزایش وزن خشک بخش هوایی گیاه می‌شود که با نتایج این پژوهش تطابق دارد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات رشدی گیاه تربچه در تیمارهای مختلف اسیدهای آلی و معدنی

Table 3- Mean comparison of growth traits of Radish (*Raphanus sativus* L.) in different treatments of organic and inorganic acids

تیمار Treatment	نسبت غده به بخش هوایی (وزن تر) Ratio of shoot to tuber (Fresh weight)	وزن خشک غده Tuber dry weight (g pot^{-1})	وزن تر غده Tuber fresh weight (g pot^{-1})	وزن خشک بخش هوایی Shoot dry weight (g pot^{-1})	وزن تر بخش هوایی Shoot fresh weight (g pot^{-1})
1	1.55 b	1.11 dc	10.16 c	0.65 c	6.55 c
2	1.46 b	1.47 c	14.64 b	0.97 a	10.03 a
3	1.44 b	1.36 c	13.30 b	0.91 ba	9.25 ba
4	1.93 b	1.77 ba	17.13 a	0.86 ba	8.86 b
5	2.08 a	1.91 a	17.60 a	0.85 ba	8.47 b
6	0.46 e	0.35 f	3.22 e	0.68 c	7.04 c
7	0.75 d	0.71 e	6.49 d	0.82 b	8.71 b
8	0.75 d	0.74 e	6.93 d	0.88 ba	9.19 ba
9	1.08 c	0.94 d	8.32 cd	0.71 c	7.68 bc
10	0.99 c	0.98 d	8.99 cd	0.89 ba	9.11 ba

حروف یکسان در هر ستون از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD ندارند.

The same letters in each column were not statistically significant at 5% of probability level based on LSD test.

با ایجاد تنش خشکی نسبت وزن غده به بخش هوایی کاهش یافت. کاهش این نسبت ممکن است به دلیل از دست رفتن مقدار زیادی آب غده برای حفظ بخش هوایی در برابر تنش باشد. استفاده از کود سولفات پتاسیم و کودهای زیستی این نسبت را در شرایط تنش کمی بهبود بخشید و تأثیر کاربرد تلفیقی کودهای زیستی بیشتر بود. بیشترین نسبت غده به ریشه در تیمار ۵ که در آن هر سه کود زیستی استفاده شده بود دیده شد. کمترین نسبت نیز در تیمار شاهد تحت تنش خشکی (۶) دیده شد. تنش خشکی فرآیندهای مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنش خشکی همچنین به‌طور مستقیم با کاهش تحرک عناصر غذایی در خاک، رشد گیاه را کاهش می‌دهد (۱۰). کود دهی در این شرایط اگرچه سطح حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد اما جذب آب و مواد غذایی از خاک تحت تأثیر فعالیت‌های ریشه و برهم‌کنش آن‌ها با عوامل زنده و غیرزنده خاک است (۱۰). باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد در ریزوسفر و سطح ریشه کلونیزه شده و باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش‌ها می‌شوند. این روش‌ها شامل تولید محرک‌های رشد (انواع اکسین‌ها، سیتوکنین و جیبرلین)، کاهش تولید اتیلن در گیاهان تحت تنش (۱۴)، به حداقل رساندن کاهش پتانسیل آب برگ (۱۲)، جلوگیری از کاهش فتوسنتز (۱۲) و تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (۱۸) می‌باشد. از این رو مشاهده شد که در تیمارهای بدون تنش، کود

شیمیایی عملکرد بهتری از خود نشان داده است اما در تیمارهای تحت تنش خشکی تاثیر کودهای زیستی در کاهش اثر تنش بیشتر از کود شیمیایی بود.

پارامترهای فیزیولوژیکی

تأثیر تیمارهای مختلف بر مقدار پرولین برگ و غده تربچه در جدول ۴ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر غلظت پرولین برگ و غده تربچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و غلظت پرولین در غده بیشتر از برگ بود. ایجاد تنش در گیاهان باعث افزایش مقدار پرولین در برگ و غده تربچه شد. در برگ‌های تیمار شاهد، بروز تنش سطح پرولین را حدود ۴۰ درصد افزایش داد درحالی‌که در غده غلظت پرولین در تیمار تحت تنش خشکی به ۶/۲ برابر رسید. دلیل این اختلاف ممکن است مسیرهای متفاوت تولید پرولین در برگ و غده باشد. گزارش شده است که در تربچه تولد پرولین در برگ‌ها و غده ها از مسیرهای متفاوتی تولید می شود و دلیل آن نیز به شرایط محیطی مانند تنشهای بستگی دارد (۲۲). در شرایط غیرتنش کاربرد کود شیمیایی و کود زیستی، غلظت پرولین در برگ‌ها را نسبت به شاهد تغییر نداد اما در غده غلظت آن را کمی افزایش داد و تأثیر کودهای زیستی و سولفات پتاسیم در این مورد یکسان بود. بیشترین پرولین تولید شده در شرایط غیر تنش در تیمار ۳ با کاربرد کود زیستی محتوی باکتری‌های حل کننده پتاسیم دیده شد. کاربرد کود زیستی در این مورد در تولید پرولین توسط گیاهان موثر تر از کود سولفات پتاسیم بوده است. برخی باکتری ها قادر به القای سیستمیک در گیاهان بوده و برخی مسیرها را در آنها فعال می‌کنند. با توجه به افزایش غلظت پرولین در تربچه نسبت به تیمار شاهد و تیمار سولفات پتاسیم، به نظر می رسد باکتری موجود در این کود زیستی قادر به القای سیستمیک تولید پرولین در تربچه شده است (۱۴). در غده در شرایط تنش خشکی، تأثیر کودهای زیستی در افزایش غلظت پرولین بیشتر از سولفات پتاسیم بود. در برگ‌ها بیشترین سطح پرولین در تیمار ۱۰ که در آن هر سه نوع کود زیستی به طور تلفیقی استفاده شده بود دیده شد. در غده نیز بیشترین غلظت پرولین در تیمار ۹ که در آن کود زیستی حل‌کننده پتاسیم و تثبیت کننده نیتروژن به طور تلفیقی استفاده شده بود دیده شد. پرولین از تخریب غشا و پروتئین‌های حیاتی در گیاهان تحت تنش خشکی محافظت می‌کند (۱۹). بانو و فاطیما (۳) گزارش نمودند که افزایش تولید پرولین همراه با کاهش نشت الکترولیت‌ها منجر به حفظ محتوای نسبی آب برگ‌ها در ذرت تلقیح شده با ریزوبیوم و سودوموناس شد. در شرایط تنش خشکی، پرولین در حفظ پتانسیل اسمزی، حذف رادیکال‌های آزاد، حفاظت ماکرومولکول‌ها از دناتوره شدن و تنظیم پی.اچ سلولی نقش دارد. همچنین پرولین به عنوان منبع نیتروژن و کربن برای گیاهان تحت تنش شدید عمل می‌کند و تحمل گیاه در برابر تنش را افزایش می‌دهد (۱) که با نتایج حاصل از این پژوهش تطابق داشت.

جدول ٤ -اثر تیمارهای مختلف اسیدهای آلی و معدنی بر برخی خصوصیات کمی تربچه

Table 4- The effect of organic and inorganic acids on some quantitative triats of Radish (*Raphanus sativus* L.)

تیمار Treatment	نشت یونی غده Ionic Leakage of tuber (%)	نشت یونی برگ Ionic leakage of leaf (%)	امینواسید کل در غده Total Amino acid of tuber (µ mol g^{-1} DW)	امینواسید کل در برگ Total amino acid of leaf (µ mol g^{-1} DW)	پرولین غده Tuber proline (µ mol g^{-1} DW)	پرولین برگ Leaf proline (µ mol g^{-1} DW)
1	34.2 b	21.1 bc	13.89 d	12.93 c	1.48 d	0.95 d
2	27.0 c	22.2 bc	12.48 d	13.26 c	2.89 c	0.97 d
3	25.1 c	21.3 bc	11.74 d	13.41 c	2.93 c	0.96 d
4	27.3 c	20.8 c	11.43d	12.82 c	2.98 c	10.01 d
5	26.3 c	22.1 bc	11.49 d	13.69 c	2.90 c	0.98 d
6	66.85 a	32.4 a	27.11 c	18.33 b	9.21 b	1.33 c
7	38.3 b	24.4 b	34.41 a	23.47 a	13.34 a	1.57 b
8	35.2 b	25.1 b	31.16 ab	24.09 a	14.27 a	1.66 a
9	38.7 b	24.7 b	30.97 b	23.21 a	14.62 a	1.65 a
10	39.2 b	25.1 b	31.27 ab	22.94 ab	13.51 a	1.69 a

حروف یکسان در هر ستون از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD ندارند.

The same letters in each column were not statistically different at the 5% of probability level based on LSD test.

در جدول ۴ مقایسه میانگین تیمارهای مختلف بر غلظت آمینواسید برگ و غده تربچه آورده شده است. در شرایط غیرتنش اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف در غلظت امینواسید برگ و غده وجود ندارد. همچنین غلظت امینواسیدها در شرایط غیرتنش در برگ و غده تقریباً یکسان بود. در شرایط تنش، مقدار امینواسید در برگ و غده تربچه افزایش یافت. غلظت امینو اسید برگ در شرایط تنش حدود ۴۰ درصد افزایش یافت اما در غده ۹۵ درصد افزایش نشان داد. در شرایط تنش، کاربرد کود زیستی و سولفات پتاسیم

غلظت آمینواسیدها در برگ‌ها را نسبت به شاهد افزایش داد ولی بین تیمارهای کودی اختلاف معنی‌دار دیده نشد. در غده‌ها نیز کاربرد کود زیستی و سولفات پتاسیم در شرایط تنش غلظت امینواسیدها را نسبت به شاهد افزایش داد ولی بین تیمارهای کودی اختلاف معنی‌دار قابل توجهی دیده نشد. در برگ‌ها بیشترین غلظت آمینواسید در تیمار ۸ و در غده بیشترین غلظت در تیمار ۷ دیده شد. تجمع امینواسیدها در گیاهان معمولا بر اثر تنش‌های زنده و یا غیرزنده رخ می‌دهد و نوعی پاسخ به تنش می‌باشد. گزارش شده است که تحت شرایط تنش خشکی القای بیان پروتئینهای ناقل افزایش می‌یابد (۲۲). این پروتئین‌ها به انتقال عناصر غذایی بین سلول‌ها و خروج متابولیت‌های مضر از سلول کمک می‌کنند (۲۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر مقدار نشت یونی برگ و غده تربچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. در برگ‌ها، بیشترین نشت یونی در تیمار شاهد تحت تنش دیده شد. در تیمارهای تحت تنش، بین سایر تیمارهای کودی اختلاف معنی‌دار دیده نشد. بین تیمارهای بدون تنش نیز اختلاف معنی‌دار دیده نشد. به طورکلی تنش خشکی تأثیر چندان زیادی بر غشای سلول‌های برگ نداشت و آن مقدار تخریب کم نیز با کاربرد کود سولفات پتاسیم یا کودهای زیستی کاهش یافت. اما در غده‌ها اعمال تنش خشکی نشت یونی را افزایش داد. بین تیمارهای بدون تنش بیشترین نشت یونی در تیمار شاهد دیده شد و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. در بین تیمارهای تحت تنش خشکی نیز بیشترین نشت یونی در غده‌ها در تیمار شاهد دیده شد. کاربرد کود سولفات پتاسیم و کودهای زیستی سبب کاهش نشت یونی شد و تأثیر آن‌ها یکسان بود.

تحت تنش خشکی، غشای سلولی پایداری خود را از دست داده و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی مواد محلول از سلول‌های آن به بیرون تراوش می‌کند، لذا پایداری غشا به وسیله اندازه‌گیری تراوش یون‌ها از آن ارزیابی می‌شود (۲). به نظر می‌رسد که پایداری غشای سلولی در تنش‌ها با سنتز پروتئین‌های شوک گرمایی و ویژگی‌های سیستم فتوسنتزی، از جمله آنزیم‌های کلیدی و غشاهای تیلاکوئیدی مرتبط می‌باشد (۷).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر مقدار کل قندهای محلول برگ و غده تربچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در برگ فقط تیمار شاهد با سایر تیمارها اختلاف معنی دار داشت و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار دیده نشد. بیشترین مقدار کل قندهای محلول در برگ در تیمار ۸ (با میانگین ۵۴/۱۷ میکرومول بر گرم وزن خشک گیاه) دیده شد. در غده‌ها در حالت بدون تنش بین تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. ایجاد تنش خشکی موجب افزایش مقدار کل قندهای محلول شد. مقدار کل قند محلول در تیمار تحت تنش حدود ۳۰ درصد نسبت به شاهد بدون تنش افزایش یافت. کاربرد کودهای سولفات پتاسیم و کود زیستی در تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار قندهای محلول نسبت به شاهد تنش خشکی شد. بین تیمارهای کودی در شرایط تنش خشکی اختلاف معنی‌دار دیده نشد و به نظر می‌رسد تأثیر سولفات پتاسیم و کودهای زیستی در این مورد یکسان باشد. در غده‌ها بیشترین مقدار قند کل در تیمار ۸ و کمترین مقدار نیز در تیمار ۲ دیده شد. قربانعلی و همکاران (۱۱) در مطالعه اثر تنش خشکی بر روی گیاه سویا دریافتند که افزایش شدت تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار غلظت قندهای محلول در ساقه و برگ می‌گردد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول ممکن است ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش رشد، سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و همچنین تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول باشد (۹).

ادامه جدول ٤- اثر تیمارهای مختلف اسیدهای آلی و معدنی بر برخی خصوصیات کمی تربچه

Table 4 (continued)- The effect of organic and inorganic acids on some quantitative triats of Radish (*Raphanus sativus* L.)

تیمار Treatments	نشاسته غده Tuber starch (mg g-1 DW)	نشاسته برگ Leaf starch (mg g-1 DW)	کل قندهای محلول غده Total soluble sugars of tuber (μ mol g-1 DW)	کل قندهای محلول برگ Total soluble sugars of leaf (μ mol g-1 DW)
1	16.4 ba	19.7 b	27.7 c	42.61 b
2	17.1 a	22.4 ba	26.2 c	52.37 a
3	16.2 ba	21.3 b	28.4 c	50.22 a
4	15.8 ba	23.8 ba	28.3 c	52.27 a
5	16.7 ba	21.1 b	27.2 c	51.39 a
6	11.1 c	19.7 b	36.2 b	53.65 a
7	15.9 ba	20.5 b	49.4 a	52.19 a
8	14.2 b	21.1 b	50.8 a	54.17 a
9	15.6 ba	20.9 b	51.6 a	51.09 a
10	15.9 ba	19.8 b	50.4 a	52.88 a

حروف یکسان در هر ستون از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD ندارند.

The same letters in each column were not statistically different at 5% of probability level based on LSD test.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر غلظت نشاسته برگ معنی‌دار نشد. بر اساس نتایج جدول ۵ غلظت نشاسته برگ بین ۱۹/۷ تا ۲۳/۸ میلی‌گرم بر گرم متغییر بود و بیشترین غلظت در تیمار ۴ دیده شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های غلظت نشاسته غده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد بروز تنش باعث کاهش ۳۲ درصدی غلظت نشاسته در غده نسبت به شاهد بدون تنش شد. تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده نشاسته می‌شود و غلظت نشاسته کاهش می‌یابد (۱۳). بیشترین غلظت نشاسته غده در تیمار ۲ که در آن کود سولفات پتاسیم استفاده شده بود دیده شد. بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار دیده نشد. این نتایج نشان داد که کاربرد کود سولفات پتاسیم و کودهای زیستی در شرایط تنش اثرات منفی تنش بر غلظت نشاسته را تعدیل می‌کند.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تنش خشکی موجب کاهش وزن تر و در نهایت عملکرد کل گیاه تربچه می‌شود. در گیاه تربچه تنش خشکی، وزن تر غده را بیشتر تحت تأثیر قرار داد. گیاه تربچه در بروز تنش خشکی از آب ذخیره غده استفاده می‌کند تا برگ‌ها کمتر دچار عوارض تنش شوند. در شرایط بدون تنش کاربرد کود سولفات پتاسیم و کودهای زیستی در گیاه تربچه موجب افزایش عملکرد شد. در شرایط تنش تأثیر کودهای زیستی در جبران عوارض تنش بیشتر از سولفات پتاسیم بود. تنش خشکی غلظت پرولین، امینواسیدها و قندهای محلول را در برگ‌ها و غده تربچه افزایش داده و عوارض تنش را کاهش داد. به طور کلی کاربرد سولفات پتاسیم و کودهای زیستی اثرات تنش خشکی را تعدیل نمود و تأثیر کودهای زیستی در برخی موارد بیشتر بود. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان کاربرد کودهای زیستی را در برنامه تغذیه‌ای گیاهانی مانند تربچه به ویژه در شرایط تنش قرار داد.

منابع

1- Amin S., Ghadiri H., Chen C., and Marschner P. 2016. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. Journal of Soils and Sediments 16(3): 939-953.
2- Arora A., Sairam R.K., and Srivastava G.C. 2002. Oxidative stress and antioxidative system in plants. Current Science 1227-1238.
3- Bano A., and Fatima M. 2009. Salt tolerance in *Zea mays* (L.) following inoculation with Rhizobium and Pseudomonas. Biology and Fertility of Soils 45(4): 405-413.
4- Bates L., Waldren R. and Teare I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39(1): 205-207.
5- Chen K., Kurgan L., and Rahbari M. 2007. Prediction of protein crystallization using collocation of amino acid pairs. Biochemical and Biophysical Research Communications 355(3): 764-769.
6- Dardipour A., Farshadi Rad A., and Cheap M.H. 2010. The effect of Azotobacter chrococoum and Azospirillum lipoferum on soil potassium release in soybean pots (*Glycine max* var. Williams). Journal of Agricultural Ecology 2(4): 599-593. (In Persian with English abstract)
7- Demin I.N., Deryabin A.N., Sinkevich M.S., and Trunova T.I. 2008. Insertion of cyanobacterial desA gene coding for 12-acyl-lipid desaturase increases potato plant resistance to oxidative stress induced by hypothermia. Russian Journal of Plant Physiology 55(5): 639-648.
8- DuBois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.T., and Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28(3): 350-356 .
9- Ehdaie B., Alloush G. A., Madore M. A., and Waines, J. G. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. Crop Science 46(5): 2093-2103.
10- Etesami H., and Beattie G.A. 2017. Plant-microbe interactions in adaptation of agricultural crops to abiotic stress conditions. Probiotics and Plant Health 163-200.
11- Ghorbanli M., Gafarabad M., Amirkian T., and Allahverdi Mamaghani M.B. 2013. Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. Iranian Journal of Plant Physiology 3(2): 651-658.
12- Kannenberg S.A., and Phillips R.P. 2017. Soil microbial communities' buffer physiological responses to drought stress in three hardwood species. Oecologia 183(3): 631-641.
13- Keller F., and Ludlow M.M. 1993. Carbohydrates metabolism in drought– stressed leaves of pigeonpea (Cajanus cajana). Journal of Experimental Botany 44(8): 1351-1359.
14- Mayak S., Tirosh T., and Glick B.R. 2004. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress

in tomatoes and peppers. Plant Science 166(2): 525-530.

15- Naidu B.P. 1998. Separation of sugars, polyols, proline analogues, and betaines in stressed plant extracts by high performance liquid chromatography and quantification by ultra violet detection. Functional Plant Biology 25(7): 793-800.

16- Numan M., Bashir S., Khan Y., Mumtaz R., Shinwari Z.K., Khan A.L., and Ahmed A.H. 2018. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. Microbiological Research 209: 21-32.

17- Rasouli Sedghiani M.H., Sadeghi Azad S., Brin M., Sepehr A. and Dolati B. 2016. The effect of silicate solubilizing bacteria on the release of potassium from the micaceous minerals and its uptake by maize. Journal of Soil Science 78: 89-102. (In Persian with English abstract)

18- Sandhya V., Ali S.Z., Grover M., Reddy G., and Venkateswarlu B. 2010. Effect of plant growth promoting Pseudomonas spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. Plant Growth Regulation 62(1): 21-30.

19- Smirnoff N., and Cumbes Q.J. 1989. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. Phytochemistry 28(4): 1057-1060 .

20- Subramanian P., Mageswari A., Kim K., Lee Y., and Sa T. 2015. Psychrotolerant endophytic Pseudomonas sp. strains OB155 and OS261 induced chilling resistance in tomato plants (*Solanum lycopersicum* Mill.) by activation of their antioxidant capacity. Molecular Plant-Microbe Interactions 28(10): 1073-1081.

21- Valencia-Cantero E., Hernández-Calderón E., Velázquez-Becerra C., López-Meza J.E., Alfaro-Cuevas R., and López-Bucio J. 2007. Role of dissimilatory fermentative iron-reducing bacteria in Fe uptake by common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown in alkaline soil. Plant and Soil 291(1-2): 263-273.

22- Vranova V., Rejsek K., Skene K. R., and Formanek P. 2011. Non-protein amino acids: plant, soil and ecosystem interactions. Plant and Soil 342(1-2): 31-48.

23- Xiao-Hui F., Zhang S.A., Xiao-Dan M., Yun-Cong L., Yu-Qing F., and Zhi-Guang L. 2017. Effect of PGPR and N source on plant growth and N, P uptake by tomato grown in calcareous soils. Pedosphere 27(6): 1027-1036.

24- Xie H., Pasternak J., and Glick B.R. 1996. Isolation and characterization of mutants of the plant growth-promoting rhizobacterium Pseudomonas putida GR12-2 that overproduce indoleacetic acid. Current Microbiology 32(2): 67-71.

25- Zhang C., and Kong F. 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. Applied Soil Ecology 82: 18-25.

26- Zorb C., Senbayram M., and Peiter E. 2014. Potassium in agriculture–status and perspectives. Journal of Plant Physiology 171(9): 656-669.

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 633-643
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۶۴۳-۶۳۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Effect of Potassium Solubilizing Biofertilizers Application Compared to Potassium Sulfate on Growth and Some Physiological Traits of Radish (*Raphanus sativus* L.) under Drought Stress

A. Samadi[1]- A. Hassani [2]*- M. Gholamhoseini[3]
Received: 01-12-2019
Accepted: 26-08-2020

Introduction: Plant growth promoting bacteria are beneficial microorganisms that produce plant resistance to a variety of biological and non-biological stresses, including drought, extreme temperatures, salinity, toxic metals, etc, and increase plant productivity and yield. The use of these microorganisms as biological agents in increasing soil fertility and improving agricultural productivity has been studied by many researchers, so a proper understanding of their effect on drought resistance can be effective in water resources management. Useful in field and reducing environmental effects of using chemical fertilizers. The purpose of this study was to investigate the effect of some bio-fertilizers on growth and some physiological and biochemical characteristics of red radish and in comparison with potassium sulfate application under drought stress.

Material and Methods: In other to investigate the effect of application of bio-fertilizers containing potassium-soluble bacteria (*Pseudomonas koreensis* and *Pseudomonas vancouverensis*), phosphorus-solubilizing bacteria (*Pseudomonas putida*) and nitrogen-fixing bacteria (*Pantoea agglomerans*) on plant growth and function, this experiment was done with 10 treatments and three replications in the form of completely randomized design in greenhouse. Finally the statistical population consisted of 30 pots of 10 treatments and three replications for red radish. Drought stress was applied in such a way that the apparent symptoms of stress were seen in the plants and the amount of water used was the same for all plants. The experiment was carried out in greenhouses and nylon pots with a capacity of 6.5 kg were used. The soil was prepared using a calcareous soil of Zanjan University research field. Its absorption was less than critical. Organic matter content was 0.4% and lime equivalent was 14.1% pH of soil 7.57 and EC of abstract soil paste was 2.21. Pots were treated with municipal water for 25 days after planting. EC values of water was 400 µS / cm that irrigated the plants every three days. The desired bio-fertilizers were added to the pots with irrigation water. After 25 days, 15 pots of treatments 4 to 6 were subjected to drought stress. 40 days after planting before drying of the plants, weight, moisture content of plant tissue, leaf proline content, total free amino acid, and total soluble sugars in leaf extract were measured. Analysis of variance was performed using SAS software and LSD test at the 5% level was used to compare the means.

Results and Discussion: Results of analysis of variance showed that the effect of different treatments on aerial fresh weight was significant at 1% level. Fertilizer treatments under stress and non-stress conditions significantly increased aerial fresh weight. Among non-stress treatments, the highest fresh weight was obtained from treatment 2 (10.03 g / pot) and the lowest was in control treatment (6.55 g / pot). Among the drought stress treatments with application of different fertilizers used, treatment 8 (9.19 g / pot) had the highest and treatment 6 (7.04 g / pot) had the lowest fresh weight. Application of potassium sulfate fertilizer increased the fresh weight of aerial part both under stress and non-stress condition. Potassium soluble bio-fertilizer alone and in combination with other bio-fertilizers increased radish aerial fresh weight, which was not significantly different from potassium sulfate fertilizer. In radish, drought stress affected the tuber fresh weight more. The radish plant uses the water of the tuber reserve in drought stress so that the leaves are less susceptible to stress. In non-stress conditions, application of potassium sulfate fertilizer and bio-fertilizers in radish increased yield. Potassium sulfate effect was greater. In stress conditions, the effect of bio-fertilizers was more than potassium sulfate in stress condition. The effect of potassium soluble bio-fertilizer application was almost identical with the combined application of different biofertilizers. Drought stress increased the concentration of proline, amino acids and soluble sugars in leaves and tubers of radish. Increasing concentration of these compounds indicated

1 and 2- M.Sc. Graduate and Assistant Professor of Soil Science, Department Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Akbar.Hassani@znu.ac.ir)
3- Assistant Professor Department of Oil Seeds, Seedand Plant Improvement Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.84228

that plants were resistant to drought. Application of potassium sulfate and bio-fertilizers decreased these concentration and the effect of bio-fertilizers was more than that of potassium sulfate. The amount of ion leakage also increased under drought stress but leakage decreased by using potassium sulfate and bio-fertilizers. Drought stress also reduced the starch concentration in leaves and tubers of radish, which is a consequence of drought stress.

Conclusion: In general, application of potassium sulfate and bio-fertilizers moderated the effects of drought stress and in some cases the effect of biofertilizers was greater. Integrated use of bio-fertilizers was not significantly different from the use of potassium soluble bio-fertilizer alone. So, the results of this study showed that the use of bio-fertilizers can be included in the plant nutrition program as a factor in reducing the negative effects of stress on plants.

Keywords: Amino acid, Ionic leak, Nitrogen solubilizer, Phosphorus solubilizer, Proline